Indonesian Journal of Halal
pISSN : 2623-162X ISSN : 2656-4963



Evaluasi Perancangan Pengering Surya Hibrid untuk Produk Pertanian dan Pangan

Suherman[*1,2], Widayat[1,2] dan Silviana[1,2]

[1]*Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*
[2]*Program Studi Program Profesi Insinyur*
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
*Penulis korespondensi: suherman.mz@che.undip.ac.id

Abstrak

Salah satu aspek penting dalam ketahanan pangan adalah sistem pengolahan pasca panen untuk mempertahankan masa simpan produk pertanian dan pangan. Pengeringan adalah salah satu pendekatan tertua dan paling efisien untuk tujuan tersebut. Potensi energi matahari yang sangat besar di Indonesia menjadikan teknologi pengering surya hybrid sangat potensial untuk dikembangkan. Dalam penelitian ini, perancangan dan evaluasi terhadap pengering surya hibrid untuk produk pertanian dan pangan, baik sekala lab maupun sekala industri akan dilakukan. Dalam penelitian ini produk pertanian yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah jahe, sohun, chip mocaf, dan bawang merah. Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja alat pengering adalah kurva pengeringan, dan efisiensi alat pengering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan pengering surya langsung hibrid Gas LPG, pengering surya tak langsung hibrid Gas LPG, dan pengering surya langsung hibrid Biomass, telah berhasil dan bisa mengeringkan produk pangan dan pertanian, dalam hal ini jahe, chip mocaf, dan bawang merah. Kadar air produk pangan dan pertanian yang dikeringkan telah memenuhi standar. Efisiensi alat pengering semakin menurun dengan bertambahnya waktu proses pengeringan.

Kata kunci: *Energi mahatari, Pangan, Pertanian, Pengering hybrid, Pengawetan*

Abstract

[Title: Design Evaluation of Hybrid Solar Dryer for Agricultural and Food Products] *One important aspect of food security is the post-harvest processing system to maintain the shelf life of agricultural and food products. Drying is one of the oldest and most efficient approaches for the purpose. The enormous potential for solar energy in Indonesia makes hybrid solar dryer technology very potential to be developed. In this research, the design and evaluation of hybrid solar dryers for agricultural and food products, both on a lab scale and on an industrial scale, will be carried out. In this study the agricultural products used as test materials were ginger, vermicelli, mocaf chips, and shallots. The parameters used to measure the performance of the dryer are the drying curve and the efficiency of the dryer. The results showed that the design of LPG gas hybrid direct solar dryer, LPG gas hybrid indirect solar dryer, and Biomass hybrid direct solar dryer, has been successful and can dry food and agricultural products, in this case ginger, mocaf chips, and shallots. The moisture content of dried food and agricultural products meets the standards. The efficiency of the dryer decreases with increasing drying time.*

Keywords: *Agriculture, Foods, Hybrid dryer, Preservation, Solar energy*

1. Pendahuluan

Menurut data Global Food Security Index (GFSI), ketahanan pangan Indonesia pada 2021 terus melemah. GFSI mencatat skor indeks ketahanan pangan Indonesia pada 2020 mencapai level 61,4. Namun, pada 2021 indeksnya turun menjadi 59,2.

Indeks tersebut menjadikan ketahanan pangan Indonesia tahun 2021 berada di peringkat ke-69 dari 113 negara. GFSI mengukur ketahanan pangan negara-negara dari empat indikator besar, yakni keterjangkauan harga pangan (affordability), ketersediaan pasokan (availability), kualitas nutrisi dan keamanan makanan (quality and safety), serta ketahanan sumber daya alam (natural resources and resilience). Sumber daya alam Indonesia juga dinilai memiliki ketahanan yang buruk karena belum dilindungi kebijakan politik yang kuat, serta rentan terpapar bencana terkait perubahan iklim, cuaca ekstrem, dan pencemaran lingkungan. (https://databoks.katadata.co.id/).

Salah satu penyebab utama menurunnya ketahanan pangan adalah menurunnya ketersediaan pasokan pangan. Ketersediaan pasokan pangan menurun dengan meningkatnya kehilangan pangan. Kehilangan pangan pasca panen sebesar 10~25% dari total kehilangan pangan. Hal ini disebabkan karena karena cuaca lembab, pengemasan yang tidak tepat, dan sistem penyimpanan pangan yang tidak memadai. Kehilangan pasca panen di negara maju lebih rendah dibandingkan dengan di negara berkembang, karena pemanfaatan fasilitas penyimpanan yang canggih (Masud, dkk, 2019).

Pengeringan adalah salah satu pendekatan tertua dan paling efisien untuk pengolahan makanan (Koyuncu, dkk, 2007). Fasilitas penyimpanan yang tidak memadai dan pengolahan makanan yang mudah rusak bertanggung jawab atas hampir sepertiga dari limbah makanan yang dihasilkan di seluruh dunia (Kumar, dkk, 2018). Skenario ini diperparah di negara berkembang, dimana sekitar 30-40% bahan makanan yang mudah rusak terbuang karena kurangnya pemrosesan yang tepat waktu dan tepat (Karim, dkk, 2005). Pengeringan tentu dapat direkomendasikan sebagai teknik sederhana dan banyak digunakan untuk mengatasi masalah limbah makanan yang mengkhawatirkan ini pada tahap pemrosesan. Udara panas atau pengeringan konvektif adalah metode pengeringan makanan yang paling mudah dan tertua (Alibas, 2007). Namun, pengeringan adalah salah satu proses yang paling intensif energi (Masud, 2019).

Sebagian besar pengeringan di negara berkembang dilakukan di bawah sinar matahari atau menggunakan udara panas. Di beberapa negara berkembang serta negara maju, berbagai jenis sistem pengeringan surya juga digunakan. Namun, di negara maju, banyak teknik pengeringan yang ditingkatkan dipraktikkan, seperti pengeringan drum, pengeringan semprot, pengeringan beku, dan pengeringan radiasi inframerah, dll.. Semua metode ini menimbulkan kekhawatiran tentang kebutuhan energinya yang tinggi atau manajemen kualitasnya (Duc Pham, 2019). Kualitas makanan kering dipengaruhi oleh keadaan makanan segar, metode persiapan, dan kondisi pengeringan (Joardder, 2015). Masalah kebutuhan energi dan kualitas makanan kering telah mendapat perhatian yang cukup besar dalam beberapa tahun terakhir. Karena kadar air sebagian besar buah dan sayuran segar berkisar antara 80-95%; oleh karena itu, mereka diklasifikasikan sebagai komoditas yang sangat mudah rusak (Orsat, 2007). Sejumlah besar buah dan sayuran segar terbuang sia-sia terutama karena kurangnya pengawetan yang tepat. Alasan utama dibalik daya tahannya adalah kandungan air yang tinggi dalam buah dan sayuran segar ini. Selain penyimpanan dingin, pengeringan juga dilakukan untuk mengawetkan buah dan sayuran segar yang mudah rusak ini di seluruh dunia.

Selanjutnya, di beberapa negara berkembang lainnya, penggunaan energi matahari sebagai sumber energi pengeringan semakin banyak digunakan untuk berbagai komoditas produk pangan dan pertanian. Hal ini dikarenakan energi matahari tersedia dalam jumlah banyak dan gratis, serta bisa diperbaharui. Apalagi Indonesia yang berada di daerah katulistiwa, sepanjang tahun mendapatkan radiasi matahari sebesar 5 kW/jam.m2, merupakan sumber energi matahari yang sangat besar. Dengan teknologi pengeringan matahari tertutup, maka batasan teknologi pengeringan matahari secara terbuka bisa dihilangkan (Masud, 2019).

Selama ini teknik pengeringan yang dilakukan petani adalah penjemuran di bawah sinar matahari yakni dengan membiarkan tongkol tetap pada tanaman selama 7-14 hari. Pengeringan dengan cara ini dapat menurunkan kadar air biji sampai 18%. Selanjutnya dilakukan pengeringan di lantai jemur yang memerlukan lahan yang cukup luas, sesuai dengan jumlah bahan yang akan dikeringkan. Pengeringan biji pipilan dengan cara penjemuran pada musim kemarau ini memerlukan waktu 6,5 jam untuk menurunkan kadar air biji dari 15% ke 13%. Pengeringan dengan teknik ini tentunya sangat tergantung dengan kondisi cuaca saat penjemuran. Saat suaca cerah penjemuran dapat berlangsung dengan baik, tetapi sebaliknya saat cuaca mendung atau bahkan hujan, penjemuran sama sekali tidak dapat dilakukan sehingga banyak biji jagung membusuk.

Di sisi lain, penelitian pengembangan pengering surya terus dilakukan oleh para peneliti di berbagai negara. Pengembangan pengering surya untuk iklim tropis dengan material penyimpan panas (Cetina, dkk; 2021; Lakshmi, dkk; 2021). Pengembangan pengering surya hibrid dengan pemanas listrik (Moussaoui, dkk; 2021). Pengembangan pengering surya berkelanjutan untuk produk pertanian dan pangan dengan kadar air tinggi (Aggarwal, dkk, 2022). Pengembangan pengering surya untuk limbah apel dan jeruk (Badaoui, dkk, 2022).

Melihat potensi besar dari pengembangan pengering surya untuk UKM, maka dalam dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan dan evaluasi perancangan pengering surya hibrid untuk

produk pertanian dan pangan, baik sekala lab maupun sekala industri.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk pertanian dan pangan seperti jahe, soun, chip mocaf, dan bawang merah. Bahan-bahan tersebut didapatkan dari petani lokal di Semarang dan sekitarnya.

2.2 Perancangan pengering skala lab dan pilot

Kegiatan penelitian dimulai dengan melakukan perancangan alat pengering hibrid untuk tipe;

1. Pengering Surya Tak Langsung Hibrid sekala lab
2. Pengering Surya Langsung Hibrid sekala lab
3. Pengering Surya Langsung Hibrid sekala pilot

Untuk sumber energi panas tambahan menggunakan Gas LPG.

2.3 Pengujian kinerja alat pengering

Alat yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa produk pertanian. Dalam penelitian ini produk pertanian yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah jahe, sohun, chip mocaf, dan bawang merah.
Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja alat pengering adalah kurva pengeringan, dan efisiensi alat pengering.

Kadar Air dihitung menggunakan basis basah menggunakan Persamaan.1 (Murali, dkk, 2020). mi adalah massa sampel basah (g) sedangkan md adalah massa sampel kering (g).

$$M = \frac{m_i - m_d}{m_i} \times 100\% \qquad (1)$$

Efisensi pengering dihitung mengguanakan persamaan 2 (Dhanushkodi, 2014).

$$\eta_d = \frac{m_w.h_{fg}}{IAt + E + m_{fuel}.C_v} \times 100\% \qquad (2)$$

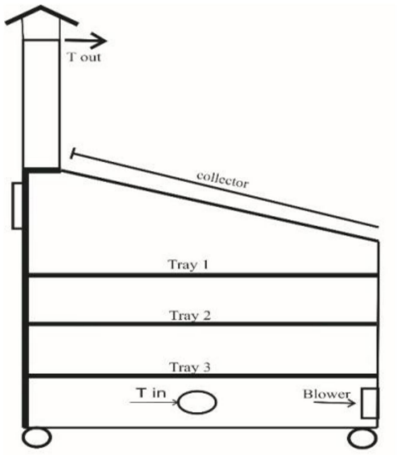
Dimana η_d adalah efisiensi pengering (%), m_w adalah massa total air yang diuapkan (kg), h_{fg} adalah panas laten penguapan air, I adalah radiasi matahari (W/m^2), A adalah luas kolektor surya (m^2), t adalah waktu pengeringan (s), E adalah konsumsi energi oleh blower (kJ), m_{fuel} adalah massa bahan bakar yang digunakan (kg), dan C_v adalah nilai kalor LPG (kJ/kg).

3. Hasil dan Pembahasan

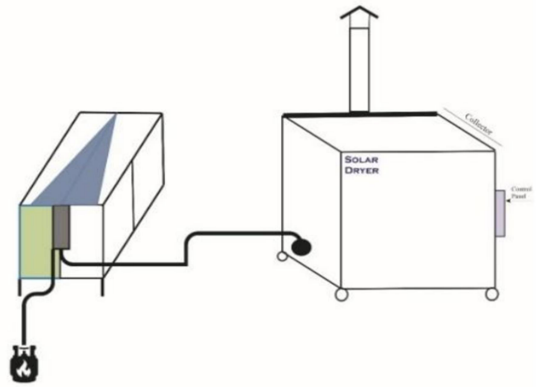
3.1 Pengering surya tak langsung hibrid

3.1.1 Gambar rancangan alat

Gambar 1. menunjukkan skema desain pengering surya, sedangkan Gambar 2. menunjukkan skema desain LPG burner. Pengering surya pada Gambar 1 memanfaatkan energi dari matahari untuk proses pengeringan, sedangkan pada Gambar 2, LPG digunakan sebagai energi tambahan untuk mengantisipasi apabila sinar matahari tidak maksimal (mendung/hujan).



Gambar 1. Skema desain alat pengering surya tak langsung tampak samping



Gambar 2. Skema desain alat pengering surya tak langsung hibrid dengan gas LPG

Pengering tenaga surya hybrid dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu ruang pengering dan unit blower dan burner, seperti terlihat pada Gambar 2. Ruang pengering berbentuk kotak, dengan dimensi panjang 90 cm, lebar 90 cm, dan 120 cm. cm tingginya. Bingkai luar ruang pengering ditutupi oleh aluminium dengan ketebalan 1 mm, yang memberikan pengering konduktivitas panas yang baik, serta untuk perlindungan karena kekuatannya yang baik. Dinding bagian dalam ruang pengering ditutupi oleh baja tahan karat dengan ketebalan 1,2 mm untuk tujuan penguatan dan selanjutnya meningkatkan konduktivitas panas pengering secara keseluruhan. Glass wool ditambahkan ke dinding bagian dalam sebagai bahan isolasi karena sifat isolasi termalnya yang tinggi. Panel akrilik dengan panjang dan lebar 90 cm dan tebal 0,5 cm dipasang di bagian atas pengering, yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari dan ditempatkan secara diagonal untuk

penyerapan radiasi matahari yang lebih baik. Empat roda dipasang di tepi bawah pengering untuk keperluan pengangkutan dan untuk mengatur posisi pengering agar penyerapan radiasi matahari maksimum.

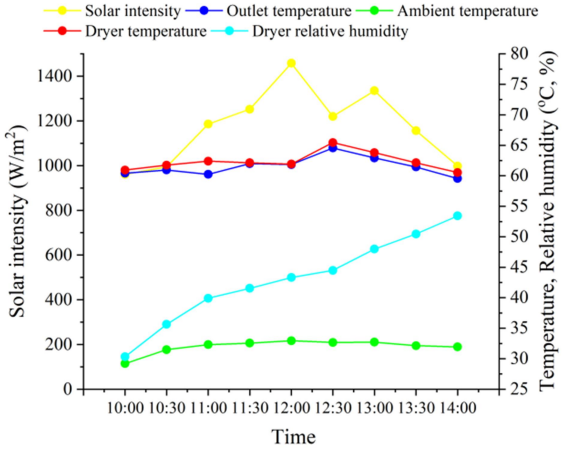


Gambar 3. Foto pengering surya (a) tampak samping, (b) baki pengering dan bagian dalam, (c) tampilan blower bagian bawah, (d) panel control dan LED

Gambar 3 menunjukkan tampilan bagian dalam ruang pengering. Tiga nampan pengering, masing-masing dengan panjang 80 cm dan lebar 80 cm ditempatkan di dalam ruang pengering. Baki dibuat dari kawat berlubang sehingga udara pengering dapat mengalir dari bawah ke atas. Udara pengering yang lembab akan keluar melalui saluran melingkar yang dipasang di bagian atas pengering. Tepi masing-masing baki ditutup dengan aluminium untuk keperluan penghantar panas serta untuk memudahkan penempatan baki ke pemegang baki yang dipasang di sisi kiri dan kanan dinding pengering. Pada setiap baki pengering, bagian atas, dan dinding bawah ruang pengering, indikator suhu dan kelembaban relatif dipasang. Data ini dapat dibaca di LCD yang ditempatkan di dalam panel kontrol di sisi kiri pengering. Di sisi kanan ruang pengering dipasang pipa untuk menghubungkan pipa udara yang berisi udara pengering dari unit blower. Sementara itu, Gambar 2 menunjukkan unit blower dan burner. Pada unit ini, Liquefied Petroleum Gas (LPG) akan memanaskan udara pengering melalui unit burner. Di ujung samping unit, unit blower meniup udara, melewati bagian burner (di mana udara pengering akan memanas), dan terbang ke ruang pengering melalui pipa udara yang menghubungkan unit burner dan ruang pengering. Panel kontrol dipasang di unit burner untuk memantau suhu pengeringan. Sakelar on/off untuk unit burner terletak di dalam panel kontrol ini.

3.1.2 Profil suhu, kelembaban relative, dan intensitas matahari

Data pengukuran suhu, kelembaban relatif, dan radiasi matahari dimasukkan ke dalam grafik untuk memahami hubungannya dengan waktu pengeringan. Gambar 5 menunjukkan profil suhu, kelembaban relatif, dan intensitas matahari pada pengeringan dengan suhu 60 C yang dilakukan pada hari ketiga percobaan. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa suhu lingkungan bervariasi dari 29 sampai 33 °C sedangkan intensitas matahari bervariasi antara 845,54 sampai 1510,72 W/m^2, dengan rata-rata 1178,13 W/m^2. Terlihat bahwa suhu keluar lebih rendah dari suhu ruang pengering. Hal ini menunjukkan bahwa udara pengering yang keluar dari pengering membawa kadar air yang lebih tinggi dibandingkan saat pertama kali masuk pengering, hal ini membuktikan bahwa proses pengeringan memang terjadi (Suherman, 2018). Suhu ruang pengering relatif stabil (antara 60-65 °C) selama proses pengeringan karena penambahan pemanas LPG. Pengering dirancang untuk menjebak panas di dalamnya, yang dapat membantu menjaga suhu yang relatif stabil di dalam pengering. Hal ini mungkin menjelaskan mengapa suhu pengering tertinggi tercatat pada pukul 12:30, padahal radiasi matahari pada saat itu bukanlah yang tertinggi. Namun, suhu pengering mulai menurun pada pukul 12:30 dan seterusnya karena berkurangnya radiasi matahari. Berlawanan dengan suhu, profil kelembaban relatif terbukti meningkat saat pengeringan berlanjut. Temuan tentang profil suhu dan kelembaban relatif ini juga ditemukan pada penelitian pengering surya hibrida serupa (Murali, 2020; Dhanushkodi, 2014; Bosomtwe, 2019)..

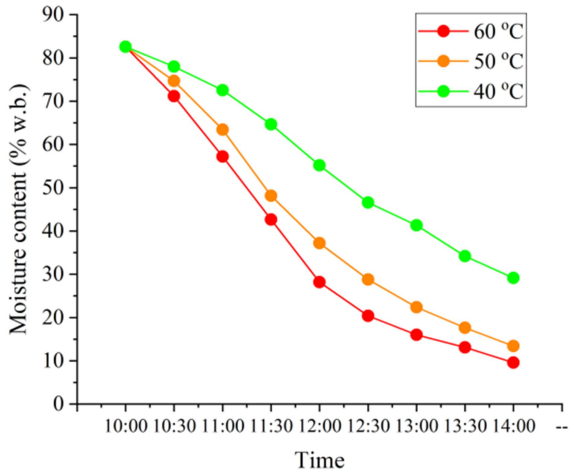


Gambar 4. Profil Suhu, Kelembaban Relatif, dan Intensitas Matahari Selama Pengeringan Hibrida Pada 60 °C.

3.1.3 Kurva pengeringan

Gambar 5 menunjukkan kurva kadar air pada suhu yang berbeda dan pada tray atas, sedangkan Seperti terlihat pada Gambar 5, pengeringan dengan suhu yang lebih tinggi menghasilkan pengurangan

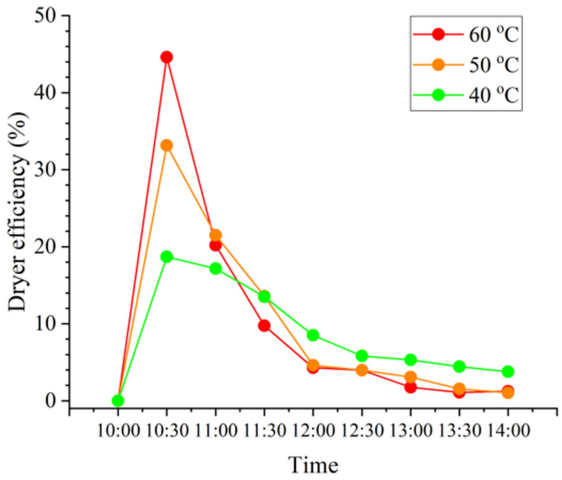
kelembaban yang lebih cepat. Suhu udara pengering yang tinggi berarti udara pengering kurang lembab, sehingga mampu menguapkan dan mengambil lebih banyak uap air dari jahe (David, 2014; Suherman, 2018). Kadar air akhir jahe yang dikeringkan pada suhu 40, 50, dan 60 °C berturut-turut adalah 29,12 %, 13,39 %, dan 9,61 % semuanya dalam basis basah. Membandingkan hasil kadar air akhir ini dengan batas aman yang dinyatakan oleh Standar Nasional Indonesia (maksimum 12% w.b.), hanya pengeringan pada suhu 60 °C yang memuaskan. Namun mengingat waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan jahe hingga kadar air yang aman, pengering surya hibrida yang digunakan dalam percobaan ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan pengering jenis lain untuk pengeringan jahe yang diteliti oleh beberapa peneliti. (Khanuengnit, 2016; Rabha, 2017; Waheed, 2014).



Gambar 5. Kurva kadar air pada suhu yang berbeda selama pengeringan di baki atas

4.1.4 Efisiensi pengering

Gambar 6 menunjukkan kurva efisiensi pengering selama pengeringan pada suhu yang berbeda. Kisaran efisiensi pengering selama pengeringan pada suhu 40, 50, dan 60 °C berturut-turut adalah 3,76 - 18,7 %, 1,04 – 33,16 %, dan 1,09 – 44,62 %. Rata-rata efisiensi pengering pada suhu 40, 50, dan 60 C berturut-turut adalah 9,64 %, 10,31 %, dan 10,86 %. Dapat dilihat bahwa penggunaan suhu pengeringan yang lebih tinggi akan meningkatkan efisiensi pengering. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu pengeringan yang digunakan akan menghasilkan lebih banyak panas, yang akan meningkatkan penyerapan air oleh udara pengering dan mempercepat proses pengeringan. Ini akan meningkatkan efisiensi pengering (Aviara, 2014; Reyes, 2014).

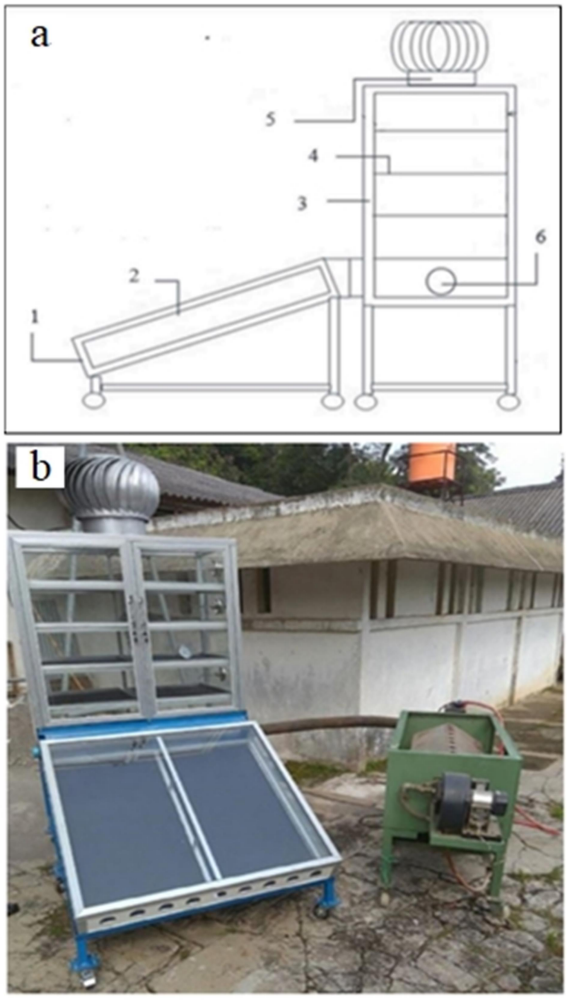


Gambar 6. Kurva efisiensi pengering pada suhu pengeringan yang berbeda.

3.2 Pengering Surya Langsung Hibrid

3.2.1. Gambar Rancangan Alat

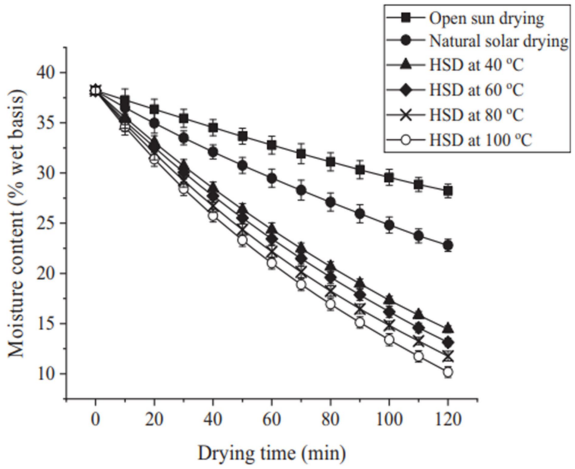
Gambar 7(a) menunjukkan skema pengering surya langsung hibrid, dan Gambar 7(b) menunjukkan foto pengering beserta unit blower dan burner. Dinding ruang jemur terbuat dari kaca dan memiliki empat tingkat, masing-masing dengan dua nampan yang diletakkan berdampingan. Setiap baki ditutupi dengan penutup aluminium di tepi samping. Kolektor surya terbuat dari kaca dengan penyerap hitam di dalam untuk meningkatkan penyerapan radiasi matahari. Sembilan lubang udara dapat ditemukan di bagian bawah kolektor surya, yang memungkinkan udara ambien mengalir ke dalam secara konveksi. Secara khusus, blower menghisap udara ambien, melewatkannya melalui unit burner untuk dipanaskan oleh LPG secara tidak langsung, setelah itu mengalir ke ruang pengering melalui pipa udara yang menghubungkan unit burner dan ruang pengering. Udara pengering konvektif dari kolektor surya dan udara pengering dari unit burner terkumpul di bagian bawah nampan pertama, setelah itu udara pengering mengalir ke atas melalui nampan dan keluar melalui cerobong yang dipasang di bagian atas ruang pengering.



Gambar 7. (a) Skema pengering surya langsung (Rincian: 1. Saluran masuk udara ambien 2. Kolektor surya 3. Ruang pengering 4. Baki pengering 5. Saluran keluar udara kering 6. Pipa udara terhubung ke saluran keluar udara panas dari unit burner dan blower.), (b) Photo alat pengering surya langsung hibrid gas LPG

3.2.2. Kurva Pengeringan

Gambar 8 menunjukkan variasi kadar air bihun menggunakan pengeringan matahari terbuka, pengeringan matahari alami, dan pengeringan surya hibrida (HSD) pada 40, 60, 80, dan 100 °C. Untuk pengeringan surya hibrida, data kadar air diperoleh dari semua nampan pengering untuk setiap suhu pengeringan dihitung dan diambil nilai rata-ratanya. Kadar air akhir bihun yang dikeringkan dengan metode pengeringan matahari terbuka dan pengeringan matahari alami berturut-turut adalah 28,22 dan 22,8%, sedangkan kadar air akhir dengan pengeringan surya hibrida pada suhu 40, 60, 80, dan 100 °C adalah 14,44, 13,14, 11,76, dan 10,18%. Berdasarkan hasil tersebut, pengeringan solar hybrid pada suhu 100 °C adalah yang tercepat sedangkan metode pengeringan matahari terbuka adalah yang paling lambat. Dengan waktu pengeringan 2 jam, pengering surya hibrida mampu menurunkan kadar air bihun sampai batas aman yaitu 14,5% basis basah (Standar Nasional Indonesia, 1995), sedangkan metode pengeringan matahari terbuka dan pengeringan matahari alami tidak dapat dilakukan.



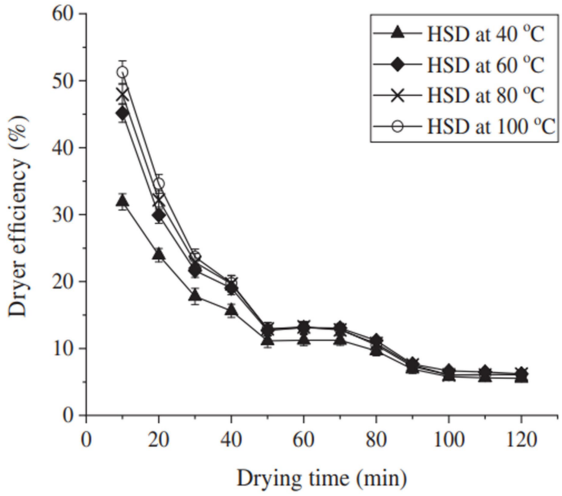
Gambar 8. Kurva kadar air bihun untuk mode pengeringan yang berbeda

Dapat dilihat dari Gambar 8 bahwa terdapat perbedaan yang signifikan sehubungan dengan pengurangan kadar air menggunakan pengeringan surya hibrida dibandingkan dengan metode matahari terbuka dan pengering surya alami. Hal ini dikarenakan penambahan LPG menyebabkan pengering mendapatkan panas yang lebih banyak sehingga pengeringan lebih cepat (Murali, dkk, 2020). Selama pengeringan surya hibrida, terbukti bahwa menggunakan suhu tinggi meningkatkan pengurangan kelembaban (Gupta, dkk, 2011). Intinya, meningkatkan suhu meningkatkan penguapan kelembaban karena meningkatkan perpindahan panas antara bihun dan udara pengering; oleh karena itu, penghilangan kelembapan dari bihun meningkat (Alara, dkk, 2019; López, dkk., 2019).

3.2.3. Efisiensi Pengering

Gambar 9 menunjukkan nilai efisiensi pengering untuk metode pengeringan surya hibrida pada suhu yang berbeda. Kisaran nilai efisiensi pengering selama pengeringan pada suhu 40, 60, 80, dan 100 °C berturut-turut adalah 5,5 hingga 31,9%, 6,2 hingga 45,2%, 6,1 hingga 47,9%, dan 6,1 hingga 51,3%. Secara keseluruhan, efisiensi pengering untuk semua suhu pengeringan berkisar antara 5,5 hingga 51,6%, yang berada pada kisaran yang sama dengan penelitian pengering surya lainnya, seperti 13,7 hingga 49,9% pada pengering surya dengan pompa panas (Yahya, dkk, 2016), 25 hingga 72% pada pengering surya hibrida berbantuan pompa panas (Mortezapour, dkk., 2012) dan 24,21 hingga 37,09% pada pengering surya hibrida dengan LPG. Terlihat dari Gambar 9 bahwa,

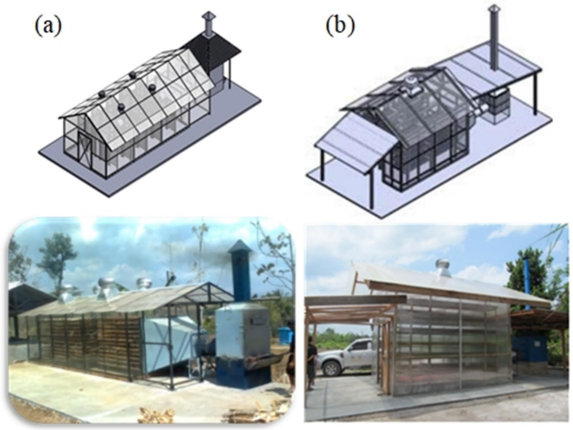
pada awalnya, efisiensi pengering tinggi untuk semua suhu pengeringan; namun, saat pengeringan berlanjut, efisiensi pengering menurun secara bertahap. Efisiensi pengering menurun dengan cepat selama 50 menit pertama pengeringan, kemudian menurun perlahan hingga pengeringan berakhir. Sebelumnya telah disebutkan bahwa pengeringan bihun terjadi pada periode laju jatuh. Pada periode ini, laju pengeringan mulai menurun karena meningkatnya resistensi internal terhadap transportasi uap air, yang pada dasarnya memperlambat penguapan air. Efisiensi pengering didefinisikan sebagai rasio energi yang digunakan untuk menguapkan air dari bihun dan energi yang disuplai ke pengering. Karena jumlah air dalam bihun berkurang, efisiensi pengering juga menurun (Ertekin & Firat, 2017; Strøm, 2011). Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi sistem pengering hybrid solar untuk meningkatkan efisiensi pengering, terutama pada bagian akhir dari percobaan pengeringan dimana pengeringan menjadi kurang efisien (nilai efisiensi sekitar 5–6%). Metode optimasi yang memungkinkan termasuk menambahkan pengering pemulihan (Yassen & Al-Kayiem, 2016), menggunakan bahan pengubah fase untuk membantu mengumpulkan energi (Reyes, dkk, 2014), atau mensirkulasikan kembali udara pengering yang keluar dari ruang pengering kembali ke ruang pengering untuk mengurangi konsumsi energi pengering (Mokhtarian dkk., 2016).



Gambar 9. Efisiensi pengering selama pengeringan surya hibrida pada suhu yang berbeda

3.3 Pengering Skala Industri

Alat pengering surya hibrid skala industri dibangun menggunakan polycarbonate, pipa galvanis pelat baja 2 inci, baja sudut 40 × 40, kotak besi 40 × 40, pelat Eser 3 mm, wire mesh aluminium, kipas berdiameter 50 cm, batu bata tahan api dan lain-lain. Gambar rancang bangun dan foto alat pengering skala industri dtampilkan pada Gambar 10. Bahan bakar untuk mengoperasikan pengering adalah minyak solar dan kayu bakar. Peralatan pengujian adalah thermohygrometer, moisture tester, anemometer, pyranometer, timbangan digital, termokopel, perekam data, timbangan kasar, stop watch, gelas ukur dan lain-lain.



Gambar 10. Rancang bangun pengering surya hybrid skala industri untuk pengeringan: (a) chips mocaf, (b) bawang

Alat pengering surya hybrid skala industri terdiri dari beberapa bagian yaitu: (1) Ruang pengering yang berupa ruangan dengan dinding dan atap berbahan plastic polikarbonat transparan sehingga sinar matahari dapat masuk. (2) Baki berbentuk rak yang didesain bertumpuk dengan jarak antar rak 40 cm, (3) Tungku pemanas yang menggunakan kayu atau bahan bakar solar sebagai sumber panas. (4) Blower untuk mensirkulasikan udara pengering. Udara panas yang telah melewati heat exchanger dihembuskan ke ruang pengering. (5) Turbin dengan diameter 400 mm akan mengambil udara pengering dan dipasang di atap ruang pengering. Turbin ini berfungsi untuk membantu sirkulasi udara panas yang membawa uap air keluar dari ruang pengering.

3.3.1. Pengering Surya Hibrid untuk Produk Chip Mocaf

Alat pengering surya hybrid skala imdustri telah dterapkan di UKM mocaf Wonogiri. Alat ini sudah berhasil diujicobakan untuk mengeringkan chip mocaf. Pengujian kinerja pada saat musim kemarau dilakukan menggunakan chip mocaf sebanyak 768 kg merupakan chip ubikayu basah hasil fermentasi dengan kadar air rata-rata 94,3 % dan dikeringkan hingga kadar air 9,4% selama 9 jam. Disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil unjuk kerja mesin pengering mocaf modifikasi musim kemarau

Parameter	Hasil	
Kadar air bahan awal rata-rata	94.3	% (db)
Kadar air bahan akhir rata-rata	9.4	% (db)
Waktu pengeringan efektif	9	jam
Kecepatan aliran udara rata-rata	2	m/s
Suhu udara di ruang plenum rata-rata	70.67	oC
Suhu bahan rata-rata	52	oC
Laju penurunan kadar air rata-rata	9.33	%/jam
Pemakaian bahan bakar kayu	28.5	kg/jam
Efisiensi panas pengeringan	53,82	%

Kondisi cuaca pada saat pengeringan mendung dan dilakukan sore hari jam 16.00 sehingga panas yang digunakan untuk pengeringan hanya berasal dari pembakaran biomassa. Udara panas untuk pengeringan dihasilkan dari tungku dengan bahan bakar kayu. Panas dari kompor disalurkan melalui tabung penyalur panas untuk dihisap dan dihembuskan oleh blower ke ruang pengeringan. Pengujian dilakukan pada suhu plenum 70-80 ^{o}C dengan sistem pemanasan yang digunakan adalah sistem pemanasan tidak langsung. Blower yang digunakan adala tipe axial dengan posisi horisontal, berjumlah satu buah, diameter 600 mm, jumlah sudut 7 buah dan putaran 2080 RPM. Penggerak blower tersebut adalah motor diesel 6,5 HP.

Suhu udara lingkungan rata-rata saat pengujian adalah 28,4 °C dengan kelembaban udara rata-rata adalah 74,0 %. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan chip mocaf dari kadar air 94,3 % menjadi 9,4% dibutuhkan waktu 9 jam dengan demikian laju pengeringan rata-rata 9,33 %/jam. Pengamatan terhadap chip mocaf sebelum dan sesudah pengeringan dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 11. Chip basah di rak dan chip kering setelah dikeringkan dengan mesin pengering

3.3.2. Pengering Surya Hibrid untuk Bawang Merah

Tabel 2 menunjukkan data kinerja dan kondisi operasi pengering. Jenis bawang merahnya adalah varietas Brebes. Kondisi panen adalah 84,5% untuk kadar air dan 1,8 cm untuk diameter umbi. Perbandingan berat rata-rata antara umbi bawang merah dengan daun dan batang sekitar 75% dan 25%. Proses pengikatan dilakukan untuk jumlah produk pelayuan 500 kg. Produk yang telah diikat kemudian diletakkan pada rak-rak pengering, yang didalamnya terdapat jarak antar produk tersebut. Proses pengeringan dilakukan, dengan suhu udara dan kecepatan udara yang terkontrol. Distribusi suhu dan kecepatan udara pengering diukur pada beberapa titik rak pengering. Parameter lain yang juga diukur yaitu temperatur umbi bawang merah, temperatur udara buang, dan gas buang yang keluar dari cerobong tungku. Berdasarkan tinjauan pustaka dan tujuan awal penelitian ini, bahwa proses pengeringan awal (=pelayuan) dilakukan selama kurang lebih 16 jam pada suhu 46℃ (Janjani dkk, 2009; Leon, 2008; dan Mawa, 2005).

Tabel 2. Data kinerja dan kondisi operasi pengering bawang merah

Parameter	Hasil	
Kapasitas pengeringan	1000	Kg/batch
Kecepatan usara pengering	3.1 – 8.1	m/s
Suhu udara pengering	58.1	℃
Suhu padatan	54.2	℃
Suhu ruangan	32.8	℃
Laju alir bahan bakar	1	lt/jam
Kelembaban udara rata-rata indoor	70.4	%
Laju alir kayu bakar	20	kg/jam
Laju alir solar	1	lt/jam
Efisiensi termal pengering	16.23	%
Efisiensi pengering	49.24	%



Gambar 12. Proses pelayuan menggunakan pengering selama 17 jam

3.4 Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L)

Dalam upaya menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman, maka aspek Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) perlu diperhatikan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi probabilitas kecelakaan kerja /penyakit akibat kelalaian yang mengakibatkan demotivasi dan defisiensi produktivitas kerja. Menurut UU Pokok Kesehatan RI No. 9 Th. 1960 Bab I Pasal

II, Kesehatan Kerja adalah suatu kondisi Kesehatan yang bertujuan agar masyarakat pekerja memperoleh derajat Kesehatan setinggi-tingginya, baik jasmani, rohani maupun sosial, dengan usaha pencegahan dan pengobatan terhadap penyakit atau gangguan Kesehatan yang disebabkan oleh pekerjaan dan lingkungan kerja maupun penyakit umum.

Peraturan ini diperkuat dengan UU Ketenagakerjaan tahun 2003, yang menyatakan bahwa setiap pekerja berhak mendapatkan perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja (UU Keselamatan Kerja) mengatur tentang prinsip-prinsip dasar yang berkaitan dengan pelaksanaan keselamatan kerja.

Peraturan lebih terperinci dijabarkan di Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012, yakni di Pasal 1 ayat 2 menjelesakan tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). K3 merupakan segala bentuk kegiatan yang bertujuan memberikan jaminan perlindungan atas keselamatan dan kesehatan tenaga kerja, baik dari kecelakaan maupun penyakit sehubungan dengan aktivitas kerja.

Pelaksanaan K3 merupakan salah satu upaya untuk menciptakan tempat kerja yang aman, sehat dan bebas dari pencemaran lingkungan, sehingga dapat mengurangi kecelakaan kerja, serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti jas lab dan safety google menjadi suatu keharusan selama melakukan pekerjaan termasuk saat bekerja di laboratorium saat melakukan penelitian.

Sebelum melakukan penelitian, peneliti melakukan persiapan diri untuk memahami resiko beserta penanggulangan yang harus dilakukan jika terjadi kecelakaan. Hal ini merupakan salah satu upaya untuk memastikan K3L peneliti selama bekerja di laboratorium. Karenanya, peneliti harus mengetahui bahan-bahan kimia yang akan digunakan beserta sifat-sifatnya.

Beberapa bahaya yang mungkin timbul saat penelitian pengeringan adalah bahaya kebakaran dan kesetrum listrik. Adapun bahaya dari Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) relatif kecil karena dalam kegiatan penelitian ini tidak menggunakan bahan kimia. Material yang digunakan hanya produk pangan atau pertanian yang dikeringkan.

Selain memahami kondisi proses penelitian, penelitian juga harus memahami kelistrikan mengingat beberapa peralatan terhubung dengan listrik. Yang tidak kalah pentingnya adalah proses pembuangan limbah bahan kimia dari penelitian itu sendiri. Penelitian ini dilakukan sepenuhnya di laboratorium. Beragam bahan kimia dengan bermacam karakteritik, digunakan dalam penelitian ini.

Dalam penelitian pengeringan produk pangan dan pertanian menggunakan energi surya hibrid dengan gas LPG atau kayu bakar, maka bahaya yang mungkin timbul adalah kebakaran dari proses pembakaran Gas LPG atau kayu bakar. Untuk potensi bahaya energi listrik, relatif kecil karena menggunakan listrik dengan voltase 220 V dan ampere kecil yakni hanya sebagai tenaga penggerak kipas. Demikian juga dengan potensi dari Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) relatif kecil, karena dalam pelaksanaan penelitian ini tidak menggunakan material B3.

Untuk meminimalkan bahaya yang mungkin terjadi, maka dalam melaksanakan penelitian, para peneliti menggunakan jas lab, memakai sarung tangan ketika memegang benda panas, menggunakan google glass. Untuk itu, berikut adalah peralatan keselamatan diri yang dipakai saat bekerja.

4. Kesimpulan

Perancangan pengering surya langsung hibrid Gas LPG, pengering surya tak langsung hibrid Gas LPG, dan pengering surya langsung hibrid Biomass, telah berhasil dan bisa mengeringkan produk pangan dan pertanian, dalam hal ini jahe, chip mocaf, dan bawang merah. Kadar air produk pangan dan pertanian yang dikeringkan telah memenuhi standar. Efisiensi alat pengering semakin menurun dengan bertambahnya waktu proses pengeringan. Alat pengering surya sekala industri telah memenuhi standar kinerja teknik. Aspek keselamatan, kesehatan kerja dan lingkungan (K3L) dalam penelitian ini telah diantisipasi dengan penggunaan alat pelindung diri dan alat keselamatan laboratorium. Etika profesi dalam penelitian ini telah ditindaklanjuti dengan pelaksanaan penelitian yang sesuai profesi keinsinyuran dan aspek ilmiah

Daftar Pustaka

Aggarwal, R.K. Shyam Singh Chandel, Shiva Gorjian, Rahul Chandel (2022), Research outcome of sustainable solar drying technology dissemination for preserving perishable agriculture and horticulture crops in the North Western Himalayan region of India, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 53, Part C, October 2022

Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Olalere, O. A. (2019). Mathematical modelling and morphological properties of thin layer oven drying of Vernonia amygdalina leaves. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 18(3), 309–315. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.09.003

Alibas, I, Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. LWT-food Sci. Technol. 40(8), 1445–1451 (2007)

Aviara, NA, Lovelyn N. Onuoha, Oluwakemi E. Falola, and Joseph C. Igbeka. Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer. Energy, 73:809–817, 2014.

Badaoui, Ouassila, Ahmed Djebli, Salah Hanini, (2022), Solar drying of apple and orange waste:

Evaluation of a new thermodynamic approach, and characterization analysis, Renewable Energy, Volume 199, November 2022, Pages 1593-1605

Bell, M.T., 2008, Food Drying with an Attitude Skyhorse

Bosomtwe, A., J. K. Danso, E. A. Osekre, G. P. Opit, G. Mbata, P. Armstrong, F. H. Arthur, J. Campbell, N. Manu, S. G. McNeill, and J. O. Akowuah. Effectiveness of the solar biomass hybrid dryer for drying and disinfestation of maize. Journal of Stored Products Research, 83:66–72, 2019.

Cetina-Quinones, A. J., Lopez, J. L., Ricalde-cab, L., Mekaoui, A. El, San-pedro, L., & Bassam, A. (2021). Experimental evaluation of an indirect type solar dryer for agricultural use in rural communities : Relative humidity comparative study under winter season in tropical climate with sensible heat storage material. Solar Energy, 224(February), 58–75. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.040

David Gudiño-Ayala and Ángel Calderón-Topete. Pineapple drying using a new solar hybrid dryer. Energy Procedia, 57:1642–1650, 2014.

Deshmukh, AW, Mahesh N. Varma, Chang Kyoo Yoo, and Kailas L. Wasewar. Investigation of Solar Drying of Ginger (Zingiber officinale): Emprical Modelling, Drying Characteristics, and Quality Study. Chinese Journal of Engineering, 2014:1–7, 2014.

Dhanushkodi,S., Vincent H Wilson, and K Sudhakar. Design and thermal performance of the solar biomass hybrid dryer for cashew drying. Facta universitatisseries: Mechanical Engineering, 12(3):277–288, 2014

Duc Pham N., et al., Quality of plant-based food materials and its prediction during intermittent drying. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 59(8), 1197–1211 (2019)

Ertekin, C., & Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(4), 701–717. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493

Fudholi, A Kamaruzzaman Sopian, Mohd Yusof Othman, and Mohd Hafidz Ruslan. Energy and exergy analyses of solar drying system of red seaweed. Energy and Buildings, 68(PARTA):121–129, 2014.

Gupta, S., Cox, S., & Abu-Ghannam, N. (2011). Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. LWT - Food Science and Technology, 44(5), 1266–1272. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.022

Hii, A.S.M.,, C.L., Jangam, S.V., Ong, S.P., Solar Drying: Fundamentals,Applications and Innovations. 2012

Janjai S, Lamlert N, Intawee P, Mahayothee B, Boonrod Y, et al. (2009) Solar drying of peeled longan using a side loading type solar tunnel dryer: experimental and simulated performance. Drying Technology 27: 595-605.

Joardder, M.U.H., R.J. Brown, C. Kumar, M.A. Karim, Effect of cell wall properties on porosity and shrinkage of dried apple. Int. J. Food Prop. 18(10), 2327–2337 (2015)

Karim, M.A. , M.N.A. Hawlader, Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. Int. J. Heat Mass Transf. 48(23), 4914–4925 (2005)

Khanuengnit Chapchaimoh, Nattapol Poomsa-Ad, Lamul Wiset, and John Morris. Thermal characteristics of heat pump dryer for ginger drying. Applied Thermal Engineering, 95:491–498, 2016.

Koyuncu, T, İ. Tosun, Y. Pınar, Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (Cornus mas L.). J. Food Eng. 78(2), 735–739 (2007)

Kumar, C, M.U.H. Joardder, T.W. Farrell, M.A. Karim, Investigation of intermittent microwave convective drying (IMCD) of food materials by a coupled 3D electromagnetics and multiphase model. Dry. Technol. 36(6), 736–750 (2018)

Lakshmi, D. V. N., Muthukumar, P., & Nayak, P. K. (2021). Experimental investigations on active solar dryers integrated with thermal storage for drying of black pepper. Renewable Energy, 167, 728–739. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.144

Leon MA, Kumar S (2008) Design and Performance Evaluation of a Solar-Assisted Biomass Drying System with Thermal Storage. Drying Technology 26: 936-947.

López-Vidaña, E. C., Pilatowsky Figueroa, I., Antonio Marcos, E. G., Navarro-Ocaña, A., Hernández-Vázquez, L., & Santiago-Urbina, J. A. (2019). Solar drying kinetics and bioactive compounds of blackberry (Rubus fruticosus). Journal of Food Process Engineering, 42(4), 1–9. https://doi.org/10.1111/jfpe.13018

Masud, MH, Karim, A, Ananno, AA, Ahmed A, 2019, Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges, Springer.

Mawa BW, Mullinix BG (2005) Moisture loss of sweet onions during curing. Postharvest Biol Technol 35: 223–227

Mokhtarian, M., Tavakolipour, H., & Kalbasi-Ashtari, A. (2016). Energy and exergy analysis in solar drying of pistachio with air recycling system. Drying Technology, 34(12), 1484–1500.

https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1129499

Mortezapour, H., Ghobadian, B., Minaei, S., & Khoshtaghaza, M. H. (2012). Saffron drying with a heat pump-assisted hybrid photovoltaic-thermal solar dryer. Drying Technology, 30(6), 560–566. https://doi.org/10.1080/07373937.2011.645261

Moussaoui, H., Bahammou, Y., Tagnamas, Z., Kouhila, M., Lamharrar, A., & Idlimam, A. (2021). Application of solar drying on the apple peels using an indirect hybrid solar-electrical forced convection dryer. Renewable Energy, 168, 131–140. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.046

Murali, S., P. R. Amulya, P. V. Alfiya, D. S.Aniesrani Delfiya, and Manoj P. Samuel. Design and performance evaluation of solar - LPG hybrid dryer for drying of shrimps. Renewable Energy, 147:2417–2428, 2020

Orsat, V, W. Yang, V. Changrue, G.S.V. Raghavan, Microwave-assisted drying of biomaterials. Food Bioprod. Process. 85(3), 255–263 (2007)

Rabha, DK, P. Muthukumar, and C. Somayaji. Energy and exergy analyses of the solar drying processes of ghost chilli pepper and ginger. Renewable Energy, 105:764–773, 2017.

Reyes, Alejandro, Andrea Mahn, and Francisco Vásquez. Mushrooms dehydration in a hybrid-solar dryer, using a phase change material. Energy Conversion and Management, 83:241–248, 2014.

Sharma, A., C. R. Chen, and N. Vu Lan, "Solar-energy drying systems: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, no. 6–7. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.08.015.

Strøm, K. (2011). Product quality in solar dried carrots, tomatoes and onions, Ås, Norway: Norwegian University of Life Sciences

Suherman Suherman and Nur Hidayati. Performance Evaluation of Pneumatic Dryer for Aren (Arenga piñata) Flour. In The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017), volume 156, page 05023, Semarang, 2018. MATEC Web of Conferences

Suherman Suherman, Mohammad Djaeni, Dyah H. Wardhani, Mukhtar R. Dzaki, and Muhammad N.F. Bagas. Performance Analysis of Solar Tray Dryer for Cassava Starch. MATEC Web of Conferences, 156:0–3, 2018.

Suherman, S, H. Hadiyanto, E. E. Susanto, S. A. Rahmatullah, and A. R. Pratama, "Towards an optimal hybrid solar method for lime-drying behavior," Heliyon, vol. 6, no. 10, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05356.

Tsotsas, E and A. S. Mujumdar, Modern Drying Technology, vol. 1–4. 2014.

Yahya, M., Fudholi, A., Hafizh, H., & Sopian, K. (2016). Comparison of solar dryer and solar-assisted heat pump dryer for cassava. Solar Energy, 136, 606–613. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.049

Yassen, TA and Al-Kayiem, HH (2016) Experimental investigation and evaluation of hybrid solar/thermal dryer combined with supplementary recovery dryer. Solar Energy 134. Elsevier ltd: 284–293. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.01